



Módulo electrónico para laboratorio remoto

Autor:

Ing. Raúl E. Romero

Director:

Dr. Sebastián Villar (UNICEN)

Esta planificación fue realizada en el curso de Gestión de la Tecnología y la Innovación entre el 14 de agosto de 2023 y el 9 de octubre de 2023.

Índice

1. Descripción técnica-conceptual del proyecto a realizar	5
1.1 La actividad experimental y los laboratorios remotos	5
1.2 Arquitectura general del LR	5
1.3 El módulo electrónico a desarrollar. La propuesta de trabajo	7
1.4 Motivaciones para profesionalizar los módulos electrónicos	7
1.5 Oportunidades de mercado	8
1.6 Arquitectura general del módulo electrónico	8
1.6.1 Aspectos generales del diseño del circuito impreso	9
1.6.2 Los protocolos de comunicación intervinientes	10
1.6.3 El microprocesador candidato	10
1.6.4 Testing de Software en Sistemas Embebidos	11
1.7 Factibilidad técnica, recursos y tiempos	11
1.8 Productos académicos y perspectivas futuras	11
2. Identificación y análisis de los interesados	12
3. Propósito del proyecto	13
4. Alcance del proyecto	13
5. Supuestos del proyecto.	14
6. Requerimientos	14
7. Historias de usuarios (<i>Product backlog</i>).	16
8. Entregables principales del proyecto	18
9. Desglose del trabajo en tareas	18
10. Diagrama de Activity On Node.	19
11. Diagrama de Gantt	20
12. Presupuesto detallado del proyecto	25
13. Gestión de riesgos	25
14. Gestión de la calidad	27
15. Procesos de cierre	29

Registros de cambios

Revisión	Detalles de los cambios realizados	Fecha
0	Creación del documento	14 de agosto de 2023
1	Primera corrección	18/09/2023
1	Versión final	26/09/2023

Acta de constitución del proyecto

Buenos Aires, 14 de agosto de 2023

Por medio de la presente se acuerda con el Ing. Raúl E. Romero que su Trabajo Final de la Carrera de Especialización en Sistemas Embebidos se titulará “Módulo electrónico para laboratorio remoto”, consistirá esencialmente en el diseño e implementación de un módulo electrónico que se utilizará como adquisidor de datos en un laboratorio remoto, y tendrá un presupuesto preliminar estimado de 625 hs de trabajo y US\$21200 dólares, con fecha de inicio 14 de agosto de 2023 y fecha de presentación pública 1 de junio de 2024.

Se adjunta a esta acta la planificación inicial.

Ariel Lutenberg
Director posgrado FIUBA

Dra. Bettina Bravo
Directora CENEX. FI-UNCPBA

Dr. Sebastián Villar
Director del Trabajo Final

1. Descripción técnica-conceptual del proyecto a realizar

1.1. La actividad experimental y los laboratorios remotos

La enseñanza de la física se sitúa en la vanguardia de las disciplinas que aprovechan al máximo las posibilidades tecnológicas para promover la comprensión de conceptos, leyes y teorías, así como para desarrollar habilidades relacionadas con la experimentación, la resolución de problemas, el trabajo en equipo y la comunicación efectiva, entre otras.

En los últimos años, las Tecnologías de la Información y la Comunicación (TIC) han introducido nuevos contextos de aprendizaje que demandan la exploración de enfoques pedagógicos innovadores, entre los cuales destacan los laboratorios remotos (LR). Estos LR pueden entenderse como entornos o plataformas de aprendizaje que integran elementos físicos reales, como materiales experimentales, actuadores, sensores, motores, instrumentos de medición, sistemas de adquisición de datos y cámaras de video, con sistemas informáticos que engloban interfaces de usuario, servicios y bases de datos. En esencia, los LR brindan una experiencia experimental similar a la de un laboratorio tradicional, aunque a distancia. Esto implica que se trabaja con actividades experimentales genuinas, con la incertidumbre inherente a los procesos de medición.

Una de las ventajas más significativas de los LR radica en su capacidad para llevar a cabo actividades experimentales con instrumental real sin requerir que los usuarios se encuentren físicamente en el mismo lugar que los equipos experimentales. Esto no solo permite experimentar con materiales y equipos de medición reales, incluso aquellos que son peligrosos o delicados, sino que también amplía el tiempo de experimentación disponible en comparación con los laboratorios tradicionales.

A pesar de los avances logrados en los últimos años en la promoción del uso masivo de los LR, acelerado por la pandemia COVID-19 que confinó la educación a un ámbito totalmente virtual, aún queda mucho por desarrollar y optimizar en relación con los recursos actualmente disponibles. Al respecto, se reconoce la necesidad e importancia de diseñar LR especialmente concebidos para enriquecer el aprendizaje de la física aprovechando al máximo su potencial educativo, y que sean de acceso libre y gratuito a fin de optimizar su uso por grandes poblaciones de estudiantes y docente y en distintos contextos educativos.

La situación descrita, y el reconocimiento de que las actividades experimentales son una instancia didáctica con gran potencial para favorecer el aprendizaje de la física, desde el “Centro de Innovación Tecnológica para la Educación Científica y Tecnológica: CENEX” de la Facultad de Ingeniería de Olavarría (FIO) al que pertenece el autor de este trabajo, se vienen desarrollado diversos recursos tecnológicos, entre ellos, un LR diseñado para propiciar la comprensión del fenómeno de Inducción electromagnética en el ciclo básico de carreras de ingeniería pero que puede extenderse sin dificultad a otras disciplinas o áreas de conocimiento como electrónica o mecánica.

1.2. Arquitectura general del LR

El LR surge como un trabajo final para la carrera Maestría en Internet de las Cosas. El plan de trabajo se separó en dos partes; una dedicada al diseño e implementación general del LR y otra al diseño e implementación de los dispositivos de adquisición y control de datos propios de cada experimento. En este contexto durante el desarrollo de la carrera Especialización en Internet de

las Cosas (CEIoT) se desarrolló la primera parte del trabajo, y la segunda, se desarrollará en el marco de la Especialización en Sistemas Embebidos (CESE).

La arquitectura general del LR se basa en una arquitectura típica de IoT. El LR está formado por un conjunto de dispositivos interconectados (figura 1). Cada dispositivo tiene una tarea específica en el experimento y de forma coordinada todos los dispositivos permiten al usuario manipular el experimento.

La figura 1 muestra un esquema general de la arquitectura. Se separa en niveles que van desde los aspectos directamente vinculados al experimento hasta los que se relacionan con la visualización y control del experimento por el usuario. El dispositivo electromecánico se sitúa en el nivel experimental. El nivel de dispositivos lo integran módulos electrónicos que trabajan de forma independiente y que manipulan directamente las variables de interés del nivel experimental. Cada dispositivo cuenta con los circuitos y elementos electrónicos necesarios para la manipulación de las variables eléctricas del nivel experimental y con la capacidad de comunicarse con los niveles superiores de la arquitectura. Cada dispositivo cuenta con un microcontrolador ESP32-C3 de la empresa Espressif responsable de la adquisición, control y envío de los datos de la comunicación.

El LR cuenta con tres dispositivos, uno para la adquisición y registro de la señal eléctrica del sensor, otro para generar el movimiento del motor del eje de los discos y otro para generar el movimiento del motor que desplaza el sensor. Cada dispositivo se conecta a la red de internet a través de una red de Wi-Fi y se comunica con el nivel de procesamiento/persistencia por el protocolo MQTT.



Figura 1. Esquema general de la arquitectura.

El nivel de procesamiento/persistencia lo integra una API (Application Programming Interface) desarrollada en el entorno de ejecución Node.js que se utiliza para gestionar el flujo de información proveniente de los dispositivos, realizar la persistencia de los datos del experimento y de proporcionar un canal de comunicación con el nivel visualización/control.

Para la persistencia y manejo de los datos se utilizan dos bases de datos diferentes, una del tipo relacional para la persistencia de los datos propios del experimento (velocidad de muestreo, dispositivos conectados, errores, descripciones, configuraciones) y otra del tipo de series temporales para el registro de logs de los dispositivos (de forma periódica cada dispositivo envía mensajes a la API indicando su estado de conexión a la red, si registro fallos, etc.). La comunicación entre el nivel de procesamiento/persistencia y el nivel de visualización/control se realiza por medio de peticiones GET/POST HTTP.

El nivel de visualización/control cuenta con dos interfaces de usuario realizadas con la herramienta para la visualización de datos Grafana. Una de las interfaces está destinada a usuarios estudiantes y otra a usuarios administradores. La interfaz de administrador le permite al administrador del LR hacer un seguimiento del estado de funcionamiento de los dispositivos conectados al LR (figura 2). Por último, los estudiantes acceden a la experiencia por medio de una plataforma Moodle disponible en la universidad, donde además del acceso al LR cuenta con guías didácticas y orientaciones para manipular el experimento.



Figura 2. Izquierda:interfaz de usuario administrador. Derecha: interfaz de usuario para estudiantes.

1.3. El módulo electrónico a desarrollar. La propuesta de trabajo

Los dispositivos (módulos electrónicos) de la capa de dispositivos forman parte fundamental del vínculo entre el experimento y la red de LR. Por este motivo y para probar la red en la primera parte del trabajo se realizaron dispositivos de prueba. Se construyeron tres dispositivos experimentales de forma artesanal para hacer ensayos de laboratorio que permitan no solo validar el funcionamiento general del LR sino también para que permitan aportar información para el desarrollo posterior de los dispositivos. Los tres dispositivos fabricados se utilizan para validar que el LR es capaz de interactuar con más de un dispositivo por experimento y que la arquitectura permite incorporar dispositivos de otros LR especialmente diseñados.

De los ensayos surgió la idea de que los módulos electrónicos no solo cuenten con las capacidades necesarias para un LR en particular, sino más bien, que cuenten con la capacidad de ser adaptables/intercambiables, de fácil implementación en diferentes LR y de fácil instalación/configuración o mantenimiento. El interés de que los módulos electrónicos cuenten con estas características se relaciona principalmente con que los LR, son equipos que funcionan muchas horas por semana y con poca supervisión/mantenimiento. Además como los experimentos pueden cambiar o utilizarse diferentes equipos de medición o elementos de laboratorio, el hecho de que los módulos puedan adaptarse a diferentes contextos permitiría disminuir los tiempos de desarrollo para cada LR.

1.4. Motivaciones para profesionalizar los módulos electrónicos

En base al plan de trabajo previsto para la Carrera de Especialización en Sistemas Embebidos lo que se busca es realizar un diseño e implementación profesional de los dispositivos de la capa de dispositivos a fin de generar un módulo electrónico estándar que incluya todas las características necesarias para la manipulación de variables en un LR genérico. De esta manera la integración a otros LR sería simple, es decir, se pretende generar una red de LR que sigan un mismo diseño. La estandarización de los dispositivos y la red basada en IoT permite no solo integrar nuevos

diseños de LR sino contar con LR de respaldo cuyos dispositivos de adquisición y control de variables sea de simple reemplazo o adaptación.

1.5. Oportunidades de mercado

El desarrollo de LR es muy valorado por la comunidad educativa ya que son equipos muy especializados no muy comunes en las universidades. Por lo general las universidades utilizan LR de otras universidades o de empresas especializadas en el mundo pero en la región, en especial en Argentina, no hay muchos desarrollos. De esta forma CENEX busca con estos desarrollos relacionarse con instituciones educativas interesadas en adquirir estos productos o recibir capacitaciones para construir los propios.

Por otro lado, el desarrollo de un módulo electrónico como el que se describe en este proyecto involucra aspectos relacionados con el diseño y construcción de equipos de adquisición de datos. En este sentido se ve como una oportunidad de mercado utilizar el conocimiento y la experiencia adquirida durante el desarrollo del proyecto para diseñar equipos de adquisidores de datos especializados y destinados a fines educativos.

Los adquisidores de datos de uso didáctico son ampliamente utilizados en el diseño de actividades experimentales en física. Por lo general los adquisidores de datos que se consiguen en el mercado, tienen costos muy elevados para los costos que habitualmente manejan las universidades en Argentina. A su vez, los productos que ofrecen estas empresas, tienen ciclos de vida limitados a un par de años, cuyos costos de actualización de licencias son elevados, lo que dificulta la actualización de los equipos/software que utilizan. La experiencia adquirida puede propiciar el diseño y construcción de equipos adquisidores de datos optimizados para el uso didáctico y ofrecerlo en el mercado de las instituciones educativas relacionadas con la enseñanza de las ciencias experimentales. En este contexto, CENEX, presenta el marco adecuado para favorecer no solo los mecanismos de vinculación/comercialización de los productos, sino también de las actualizaciones/mantenimientos/capitaciones a los docentes/usuarios correspondientes.

1.6. Arquitectura general del módulo electrónico

Los experimentos a realizar por lo general involucran el registro de señales analógicas, digitales y el control de motores de corriente continua y/o motores paso a paso. Un experimento típico en física de nivel básico universitario puede requerir registrar señales analógicas de ancho de banda no mayor a 1 kHz. Respecto de las señales digitales por lo general se las utiliza para detectar el estado de finales de carrera o para activar o desactivar actuadores que interactúan con el experimento. La necesidad de manipular motores de forma automática es una característica deseada en el diseño de muchos experimentos en física. El módulo debe integrar todos los circuitos y mecanismos de protección necesarios para proteger todas las entradas analógicas, digitales y para el control de los motores.

Todos las señales y controles necesarios para manipular el experimento se deben comandar de forma remota, por medio de un protocolo y siguiendo una estructura de mensaje como se mencionó anteriormente. Por este motivo el módulo electrónico no solo debe contar con las características necesarias para el manejo de las señales analógicas/digitales sino también con la capacidad de transmitir/recibir información, procesarla y reaccionar a las órdenes/comandos recibidos por un usuario remoto.

En general el módulo electrónico puede interpretarse como un sistema de adquisición de datos. El sistema está integrado por una plaqueta electrónica que contiene todos los elementos para el acondicionamiento, registro y tratamiento de los datos registrados. Se debe acondicionar la alimentación de todo el sistema para que pueda ser alimentado con una única fuente de 5 V. Además como el módulo debe enviar y recibir datos de forma inalámbrica, hay aspectos del diseño relacionados con ruido electromagnético, acoplamiento capacitivo e inductivo, líneas de transmisión, interferencias, etc, que hacen que el diseño deba ser evaluado cuidadosamente. La Figura 3 muestra un esquema general de la arquitectura propuesta para el módulo electrónico. El diseño debe realizarse cuidadosamente dado que en un mismo módulo conviven diferentes tipos/niveles de señales eléctricas y de diferentes fuentes. Aspectos como el diseño de PCB deben realizarse cuidadosamente ya que las características de las señales pueden traer dificultades en las comunicaciones o alterar (sumar componentes de señales no deseadas) las señales registradas/manipuladas por fuera de los valores de tolerancia admitidos para cada señal.

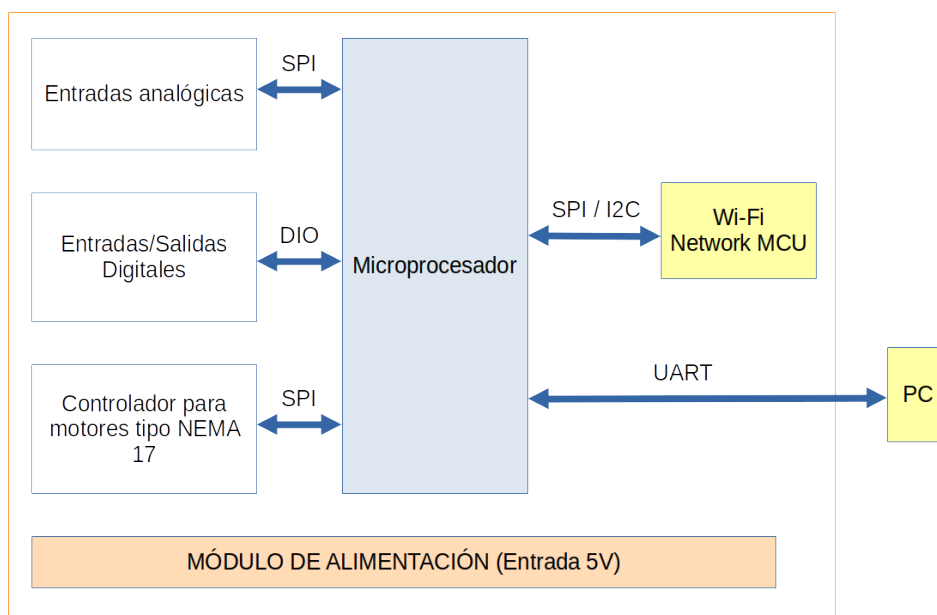


Figura 3. Arquitectura general del módulo electrónico.

1.6.1. Aspectos generales del diseño del circuito impreso

El diseño del circuito impreso debe considerar aspectos como los de emisión electromagnética, niveles de tensión, tipos y cantidad de masas, frecuencia máxima de operación, etc. Además el diseño deberá realizarse de forma profesional, es decir, se enviará a fabricar el circuito impreso a una fábrica especializada en la fabricación de este tipo de plaquetas. Un diseño exitoso implica hacer acuerdos con el fabricante sobre las posibilidades técnicas de fabricación (ancho de pista, tipo de soldadura, montaje, tamaños, capas) y ajustar el diseño a las características de fabricación del fabricante elegido. Con estas consideraciones se entiende que el diseño desde un primer momento involucrará trabajar de forma colaborativa con el fabricante. El trabajo además, incluirá acuerdos comerciales con el fabricante y gestionar la posibilidad de vinculaciones futuras. Por último se procurará que el diseño del circuito impreso sea de TIPO II (IC de tipo CMD y THT) para facilitar el armado de los componentes en los impresos.

1.6.2. Los protocolos de comunicación intervinientes

El circuito impreso debe integrar diferentes circuitos integrados (IC) que se comunican entre sí por medio de protocolos de comunicación como SPI/I2C. Para el caso de las entradas analógicas, se prevé la utilización del IC conversor ADC de precisión ADS7871, el cual cuenta con una frecuencia de muestreo de 48 kHz, 14 Bits, ganancia ajustable por canal (8 en modo común) y comunicación por SPI.

Para el control de los motores se prevé utilizar cuatro IC DRV8426 que permiten el control de motores paso a paso o de corriente continua (configurable) hasta 1,5 A y 33 V. El control de cada motor se realiza por medio de 4 líneas digitales que permiten controlar la velocidad del motor o el sentido de giro por ejemplo.

La comunicación con la red de LR debe hacerse de forma inalámbrica donde en la capa de aplicación se debe montar el protocolo MQTT. Los mensajes de envío/recepción deben ser en formato JSON y configurables por medio de una interfaz de usuario a PC.

Lo que se pretende es que la configuración sea simple por lo que se prevé evaluar la posibilidad de integrar una interfaz UART para conectar a una PC. La conexión con la PC permitiría por medio de una interfaz de usuario desarrollada en JAVA (a evaluar) realizar las configuraciones particulares del módulo electrónico. Una configuración típica podría ser la selección de los canales analógicos (modo diferencial o modo común), rango de medición o frecuencia de muestreo máxima. Otra configuración interesante podría ser la capacidad de configurar la etiqueta de cada campo del mensaje JSON. Esto permitiría con pocos pasos de configuración adaptar el módulo a diferentes LR de la red.

Un punto a evaluar, relacionado con lo anterior y menos explorado (requiere una investigación) sería la capacidad para que al módulo se le pueda actualizar el firmware de forma remota y que las configuraciones mencionadas se realicen remotamente por medio de la interfaz de administrador ya disponible en el LR.

1.6.3. El microprocesador candidato

Se prevé utilizar el microprocesador ESP32C3 dado que cuenta con varias entradas/salidas digitales y con la capacidad de comunicación inalámbrica a internet. El diseño deberá incluir varias tareas tales como: configurar, registrar y enviar datos desde el módulo de señales analógicas; setear y leer el estado de las señales digitales y configurar/manipular el control de los motores. A su vez toda la información recibida desde la red de LR y la enviada, debe ser enviada por internet utilizando el protocolo MQTT como se mencionó anteriormente. Esto último, también ameritará una tarea específica. Es claro que para la gestión de las tareas correspondientes se deberá contar con un sistema operativo de tiempo real, se propone FreeRTOS. Este punto es central dado tanto el correcto uso y configuración del sistema operativo, como el conocimiento acabado de la arquitectura del microprocesador serán determinantes en el desempeño/funcionamiento correcto del módulo electrónico. Además hay que evaluar y diseñar correctamente la aplicación teniendo en cuenta como se hará el intercambio de información entre tareas, teniendo en cuenta que algunas tareas serán productoras de información y otras consumidoras. En este sentido se debe diseñar la adquisición de los datos analógicos considerando bloques o manejos de memoria con mecanismos del tipo DMA debido a los anchos de banda previstos para las señales analógicas.

1.6.4. Testing de Software en Sistemas Embebidos

Todos los módulos de software deberán ser chequeados por medio de pruebas/testing de funcionamiento a fin de verificar el correcto funcionamiento del diseño realizado y validar que el microprocesador sea apto para cumplir con las especificaciones previstas.

1.7. Factibilidad técnica, recursos y tiempos

Como se mencionó en apartados anteriores el proyecto cuenta con el apoyo del grupo CENEX. Se dispone del equipamiento edilicio suficiente para llevar adelante el proyecto, es decir, se cuenta con un lugar físico acorde (laboratorio de física y oficina), con instrumental y recursos adecuados para el desarrollo de equipamiento electrónico. Además, el autor de este trabajo es el responsable del laboratorio de física de la facultad, lo que facilita la gestión de los recursos y la compra de insumos y/o materiales.

Los materiales y costos del proyecto están directamente relacionados principalmente con la compra de los componentes electrónicos, con la fabricación del circuito impreso y con el montaje de los componentes sobre la placa. En este sentido se debe tener en cuenta que el diseño final del módulo incluirá un ciclo de al menos 2 prototipos antes de la versión final. Se estima un costo de materiales y fabricación de 1.300 dólares para la construcción de los dos prototipos y una versión final. (se considera que la versión final incluirá 10 módulos funcionales). No se incluye el costo de la mano de obra dado que ese costo está incluido en la remuneración recibida en el trabajo del autor de este trabajo. Dado que la cantidad de módulos a armar es pequeño, el armado sobre el impreso de los prototipos 1 y 2 y la versión final se realizará de forma manual por el autor de este trabajo.

El trabajo a desarrollar forma parte de los estudios de postgrado del autor de este trabajo (requeridos laboralmente), lo que implica en este caso que parte del tiempo de trabajo puede destinarse a la realización del proyecto. Se dispone de al menos 20 h semanales dentro del horario laboral para destinar al avance del proyecto. También para casos especiales como exámenes se cuenta con licencias y autorizaciones.

Por último un aspecto a favor de cumplimiento del objetivo de este proyecto es que el autor del trabajo cuenta con el conocimiento y experiencia adquirida durante la cursada de la Carrera de Especialización en Internet de las Cosas, lo que reduce en gran medida el período de adaptación y ritmo de estudio para llevar adelante los cursos y el proyecto de la especialización en curso.

1.8. Productos académicos y perspectivas futuras

Habitualmente un LR o un sistema de adquisición de datos utilizado en educación no es fácilmente configurable o adaptable a otros experimentos del que fue diseñado, es decir, solamente pueden utilizarse para una actividad experimental concreta. El hecho de que el módulo cuente con una configuración simple no solo de las señales eléctricas adquiridas, sino también a lo referido con la comunicación con la red de LR lo hace más versátil que otras soluciones.

Contar con un LR totalmente funcional y que además sus módulos electrónicos sean adaptables y fabricados profesionalmente agrega conocimiento/experiencia a los integrantes de CENEX. Este aspecto es valorado no solo por los miembros de la Facultad de Ingeniería de Olavarría (nivel

institucional) sino también por los posibles vínculos/relaciones/acuerdos que pueden originarse con miembros de otros centros educativos interesados en las mismas temáticas.

Por otro lado, en los laboratorios de ciencias básicas de las universidades se utilizan kit de laboratorio o sistemas de adquisición de datos para la realización de prácticas experimentales en los laboratorios. Estos equipos, por lo general son costosos, importados y sin servicio técnico; lo que hace complicado para muchas instituciones educativas adquirirlos. El dispositivo principal (de mayor desarrollo tecnológico) de estos equipos es el adquirente de datos. El diseño del módulo electrónico que aquí se presenta cuenta con características similares a un módulo adquirente de datos de un kit de laboratorio. Por lo tanto, este trabajo puede sentar bases sólidas (conocimiento y experiencia) para la construcción de equipos de adquisición de datos de laboratorio o kit de laboratorios comercializables.

Por otro lado, el LR en desarrollo forma parte de un proyecto de CENEX que ha sido seleccionado para participar de la edición 18 del Concurso Nacional de Innovaciones INNOVAR 2023. Dicho concurso, se realizará en el Centro Cultural de Ciencia (Ciudad de Buenos Aires), los días 28, 29 y 30 de septiembre de 2023. Además, se ha enviado un trabajo a ser presentado en el congreso organizado por la Reunión de Educación en Física (REF) que se realizará en Añatuya, Santiago del Estero entre el 1 y el 4 de noviembre de 2023. El trabajo a sido aprobado. El título del trabajo es "laboratorio remoto para inducción electromagnética basado en un equipo de medición industrial". En el trabajo se describen aspectos generales del LR centrando la descripción en los aspectos físicos/ingenieriles del experimento. La generación de trabajos como artículos para congresos se utiliza desde CENEX para propiciar el intercambio de proyectos relacionados con LR (en este caso) con otras instituciones.

2. Identificación y análisis de los interesados

Los destinatarios directos son por un lado, los miembros de trabajo del grupo CENEX directamente vinculados a desarrollos tecnológicos, dado que se contarán con el desarrollo de un módulo electrónico que no solamente se podrá integrar en el LR en desarrollo sino que también podrá ser utilizado como punto de partida para el desarrollo de otros LR o equipos de adquisición de datos con propósitos educativos. Por otro lado, son destinatarios indirectos los docentes y estudiantes que harán uso del dispositivo integrado en el LR.

Rol	Nombre y Apellido	Organización	Puesto
Cliente	Dra. Bettina Bravo	Directora CENEX. FI-UNCPBA	
Responsable	Ing. Raúl E. Romero	FI-UNCPBA	Alumno
Colaboradores	Prof. Franco J. Solari Ing. Elio Moresco	CENEX. FI-UNCPBA	
Orientador	Dr. Sebastián Villar	UNICEN	Director Trabajo final
Equipo	Gerardo Langiano	G.L seguridad, salud y ambiente	Diseñador gráfico
Usuario final	Estudiantes de Física de la FI-UNCPBA Docentes de Física de la FI-UNCPBA		

3. Propósito del proyecto

El propósito de este proyecto es diseñar e implementar un módulo electrónico para ser integrado en un LR. El LR se utilizará en la enseñanza de la física, en nivel universitario. En particular en el contexto de este trabajo, en el marco de la Carrera de Especialización en Sistemas Embebidos, se pretende diseñar e implementar los dispositivos correspondientes a la capa de dispositivos de la arquitectura del LR diseñado con anterioridad. Se pretende así, obtener un módulo electrónico capaz de integrarse no solo al LR existente sino también a otros LR de desarrollo futuro. Además, se busca que el desarrollo realizado permita obtener el grado de Magíster en Internet de las Cosas.

4. Alcance del proyecto

El presente proyecto incluye:

- El diseño e implementación del firmware del módulo electrónico.
- El diseño del circuito electrónico y la selección de componentes electrónicos.
- El diseño del circuito impreso del módulo electrónico.
- La fabricación del circuito impreso y el montaje de componentes electrónicos para dos prototipos.
- La fabricación del circuito impreso y el montaje de componentes electrónicos para una versión final.
- El diseño e implementación del protocolo de mensajes a utilizar con el protocolo MQTT.
- El diseño e implementación de un software de usuario administrador para la configuración de los módulos electrónicos por interfaz UART.
- Ensayos de laboratorio que permitan validar la integración del módulo electrónico con el LR desarrollado.
- La documentación de todo el proceso de diseño e implementación del módulo electrónico.

El presente proyecto no incluye:

- El diseño y desarrollo de la fuente de alimentación de 5 V del módulo electrónico.
- La adaptación y ensayos en otros LR.
- El desarrollo para que los dispositivos puedan actualizar su firmware de forma remota.
- Pruebas o ensayos con estudiantes.

5. Supuestos del proyecto

Para el desarrollo del presente proyecto se supone que:

- Se cuenta con el aval del departamento de Ciencias Básicas para el uso del espacio y recursos del laboratorio de física de la FI-UNCPBA.
- Se cuenta con el respaldo técnico/financiero del “Centro de Innovación Tecnológica para la Educación Científica y Tecnológica: CENEX” de la Facultad de Ingeniería de Olavarría.
- El Ing. Raúl E. Romero, responsable del proyecto, cuenta con el tiempo necesario para la planificación y ejecución del proyecto.
- Se cuenta con la infraestructura adecuada en equipos, materiales y herramientas para el desarrollo de sistemas o equipos electrónicos.
- Se cuenta con conexión a internet adecuada para las pruebas de comunicación.
- Se cuenta con un LR totalmente funcional para realizar la integración del módulo electrónico desarrollado y las pruebas correspondientes.

6. Requerimientos

1. Metodología de trabajo

- 1.1. El proceso de diseño del módulo electrónico deberá ser documentado detalladamente.
- 1.2. El proceso de implementación del módulo electrónico deberá ser documentado detalladamente.
- 1.3. Se deberá utilizar únicamente software libres para todas las herramientas de desarrollo.
- 1.4. Se deberá utilizar únicamente software libres para todas las piezas de código del proyecto.
- 1.5. Se deberá versionar el proyecto en un repositorio Git.

2. Diseño

- 2.1. El módulo debe alimentarse con 5 V de tensión continua estable.
- 2.2. El diseño del circuito impreso deberá contemplar:
 - 1) Interferencias electromagnéticas.
 - 2) Acoplamientos capacitivos e inductivos.
 - 3) Tipos y niveles de señales.
 - 4) Tipos y cantidad de masas.
 - 5) Fuerzas mecánicas intervinientes en los terminales de conexión.
 - 6) Esfuerzos térmicos en el impreso debido al calentamiento de componentes electrónicos.
 - 7) La posibilidad de armado manual o en fábrica.
- 2.3. El diseño debe estar encapsulado en un gabinete estanco.

3. Entradas analógicas

- 3.1. La frecuencia de muestreo por canal debe ser de al menos 1 kHz por canal.
- 3.2. El módulo debe contar con 4 entradas analógicas.
- 3.3. Las entradas analógicas deben poder configurarse en modo común o modo diferencial.
- 3.4. Cada entrada analógica debe tener una resolución de 100 μ V.
- 3.5. La ganancia de las entradas analógicas se debe poder configurar en ± 200 mV, ± 1 V y ± 5 V.
- 3.6. Las entradas deben contar con protección por sobretensión.
4. Entradas/salidas digitales
 - 4.1. Se debe contar con 4 entradas/salidas digitales configurables.
 - 4.2. Los niveles de las entradas/salidas debe ser TTL.
 - 4.3. la frecuencia máxima de las señales debe ser de 10 Hz.
 - 4.4. Las entradas/salidas deben contar con protección por sobretensión.
5. Controlador de los motores
 - 5.1. El módulo debe ser capaz de controlar 4 motores paso a paso del tipo NEMA 17.
 - 5.2. El módulo debe ser capaz de controlar 1 motor de corriente continua de 1 A - 5 V.
 - 5.3. Se debe contar con la posibilidad de ajustar la puesta en marcha, velocidad y dirección del giro.
 - 5.4. Las líneas de conexión eléctrica de los motores debe contar con protección por corto circuito.
6. Comunicación
 - 6.1. La comunicación entre el módulo y el LR debe hacerse, a nivel de hardware, por una conexión de internet inalámbrica.
 - 6.2. El protocolo de comunicación entre el módulo y el LR debe ser MQTT.
 - 6.3. Los datos enviados deben estar organizados en formato de archivo JSON.
 - 6.4. La comunicación entre el módulo y el software de configuración debe ser por UART.
7. Interfaz de configuración
 - 7.1. El software de configuración deberá ser realizado en JAVA.
 - 7.2. El Software deberá contar con una interfaz gráfica amigable para configurar los parámetros de principales de las entradas analógicas, entradas/salidas digitales, control de motores y mensaje de comunicación JSON.
8. Pruebas
 - 8.1. Se deberán realizar pruebas sobre el firmware del módulo electrónico.
 - 8.2. Se deberán realizar pruebas sobre la interfaz de configuración.
 - 8.3. Se deberán realizar pruebas de funcionamiento del módulo electrónico integrado al LR.
9. Documentación
 - 9.1. Se deberá elaborar un informe de avance del proyecto.
 - 9.2. Se deberá elaborar documentación del proceso de diseño del firmware del módulo.

- 9.3. Se deberá elaborar documentación sobre la arquitectura de software y hardware del módulo.
- 9.4. Se deberá elaborar documentación detallada del proceso de fabricación de circuito impreso.
- 9.5. Se deberá elaborar una memoria del proyecto.
- 9.6. Se deberá elaborar una presentación de la memoria del proyecto.
- 9.7. Se deberá presentar el proyecto públicamente.

7. Historias de usuarios (*Product backlog*)

Se identifican los siguientes roles:

- Administrador: persona responsable de laboratorio o docente especializado en el armado de experimentos.
- Técnico: persona responsable del montaje y prueba de los equipos de laboratorio.
- Investigador: docentes investigador especialista en proyectos con LR. Le interesa conocer cómo debe ser la arquitectura del sistema, qué tipo de recursos tecnológicos son adecuados para realizar experimentación remota, qué limitaciones pueden aparecer durante el trabajo remoto respecto de la disponibilidad de internet, entre otras.

Para estimar el puntaje de cada historia de usuario se consideran tres aspectos que caracterizan las tareas involucradas:

- Dificultad: Cantidad de trabajo a realizar.
- Complejidad: Complejidad de trabajo a realizar.
- Riesgo: Incertidumbre del trabajo a realizar.

A cada ítem se asigna un puntaje de 1 (bajo) a 5 (alto). El puntaje total se obtiene de la suma de los pesos asignados a cada aspecto. El puntaje final es el número de Fibonacci más próximo a la suma de los puntajes parciales. Para el peor caso el puntaje final es 21 (cada aspecto con peso igual a 5).

Historias de usuario. Usuario administrador:

- Como administrador quiero tener a disposición la documentación necesaria para entender el funcionamiento del equipo.
 - Dificultad: 3
 - Complejidad: 2
 - Riesgo: 1

Total: 6. Puntaje final: 8

- Como administrador quiero contar con una interfaz de configuración clara para poder adaptar el equipo a diferentes experimentos.

- Dificultad: 4
- Complejidad: 4
- Riesgo: 2

Total: 10. Puntaje final: 13

- Como administrador quiero que el equipo mantenga un registro de logs de estados y fallas que pueda ser consultado de forma remota.

- Dificultad: 2
- Complejidad: 4
- Riesgo: 1

Total: 7. Puntaje final: 8

Historias de usuario. Técnico:

- Como técnico quiero que el manual de reparación cuente con la información de cada uno de los componentes electrónicos y con un circuito electrónico claro.

- Dificultad: 3
- Complejidad: 2
- Riesgo: 1

Total: 6. Puntaje final: 8

- Como técnico quiero que el mantenimiento o reparación de los equipos se pueda realizar con herramientas e instrumentos típicos de un taller de electrónica básico.

- Dificultad: 2
- Complejidad: 4
- Riesgo: 1

Total: 7. Puntaje final: 8

- Como técnico quiero que el equipos cuente con indicadores visuales para las fallas que se consideran que debe sacar de funcionamiento al equipo.

- Dificultad: 4
- Complejidad: 4
- Riesgo: 2

Total: 10. Puntaje final: 13

Historias de usuario. Investigador:

- Como investigador quiero poder acceder fácilmente a los resultados de las pruebas y a los binarios compilados de las diferentes versiones a lo largo del tiempo.

- Dificultad: 3
- Complejidad: 4

- Riesgo: 2

Total: 9. Puntaje final: 13

- Como investigador quiero que la documentación del proceso de diseño del circuito electrónico y la correspondiente a la del circuito impreso esté debidamente actualizada en el repositorio.

- Dificultad: 3
- Complejidad: 3
- Riesgo: 2

Total: 8. Puntaje final: 13

- Como investigador quiero que los módulos electrónicos puedan adaptarse fácilmente a un banco de laboratorio para evaluar otros usos para el equipo o reformas futuras.

- Dificultad: 3
- Complejidad: 4
- Riesgo: 1

Total: 8. Puntaje final: 13

8. Entregables principales del proyecto

- Módulo electrónico para ser integrado en LR.
- Plano mecánico del módulo electrónico con gabinete estanco.
- Diagrama esquemático con detalles de la arquitectura del módulo electrónico.
- Plano del circuito impreso.
- Archivos y códigos fuentes para la fabricación del circuito impreso.
- Código fuente del firmware del módulo electrónico.
- Código fuente del software de la interfaz de configuración.
- Manual de instalación y de usuario.
- Informe final.

9. Desglose del trabajo en tareas

1. Entorno de trabajo (25 hs)
 - 1.1. Confección de la planificación del proyecto (20 hs)
 - 1.2. Crear estructura de directorios y repositorio Git (5 hs)
2. Investigación (40 hs)
 - 2.1. Búsqueda de soluciones similares (20 hs)

- 2.2. Definir una solución. Se detalla la solución propuesta, justificando las elecciones realizadas (20 hs)
3. Diseño e implementación del hardware (160 hs)
 - 3.1. Diseño de la electrónica, diagrama de bloques y esquemáticos (40 hs)
 - 3.2. Simulación de los circuitos armados (30 hs)
 - 3.3. Diseño del PCB (40 hs)
 - 3.4. Diseño y/o selección de gabinete (10 hs)
 - 3.5. Fabricación del PCB. Se envía a fabricar el PCB a una empresa especializada (10 hs)
 - 3.6. Adquisición componentes. Se compran los materiales y componentes electrónicos necesarios (10 hs)
 - 3.7. Montaje de componentes electrónicos (10 hs)
 - 3.8. Pruebas de montaje de componentes (10 hs)
4. Diseño e implementación del software (140 hs)
 - 4.1. Preparación del toolchain (20 hs)
 - 4.2. Diseño del firmware (40 hs)
 - 4.3. Desarrollo del Firmware: Se desarrolla el firmware en base al diseño (40 hs)
 - 4.4. Verificación del Firmware: Se integran todos los componentes de software desarrollados. Se realizan verificaciones de funcionamiento (40 hs)
5. Pruebas (130 hs)
 - 5.1. Armado del banco de laboratorio para pruebas (30 hs)
 - 5.2. Pruebas de software (40 hs)
 - 5.3. Ensayos de validación (30 hs)
 - 5.4. Pruebas de campo (30 hs)
6. Documentación del proyecto (130 hs)
 - 6.1. Registro de los aspectos relevantes surgidos en la etapa de pruebas (10 hs)
 - 6.2. Elaboración y corrección del manual de usuario y el manual de servicio (20 hs)
 - 6.3. Elaboración y corrección del informe de avance del proyecto (40 hs)
 - 6.4. Elaboración y corrección de la memoria del proyecto (40 hs)
 - 6.5. Elaboración y corrección de la presentación públicamente del proyecto (20 hs)

Cantidad total de horas: (625 hs)

10. Diagrama de Activity On Node

Se presenta el diagrama en *Activity on Node* del proyecto. Dentro de cada recuadro se indica cada tarea (TA) con su correspondiente número de tarea, cada número de tarea se corresponden exactamente con los definidos en la sección 9 (Desglose del trabajo en tareas), y el tiempo (t) requerido para su realización en horas. Las tareas con recuadros sombreados con amarillo indican caminos críticos.

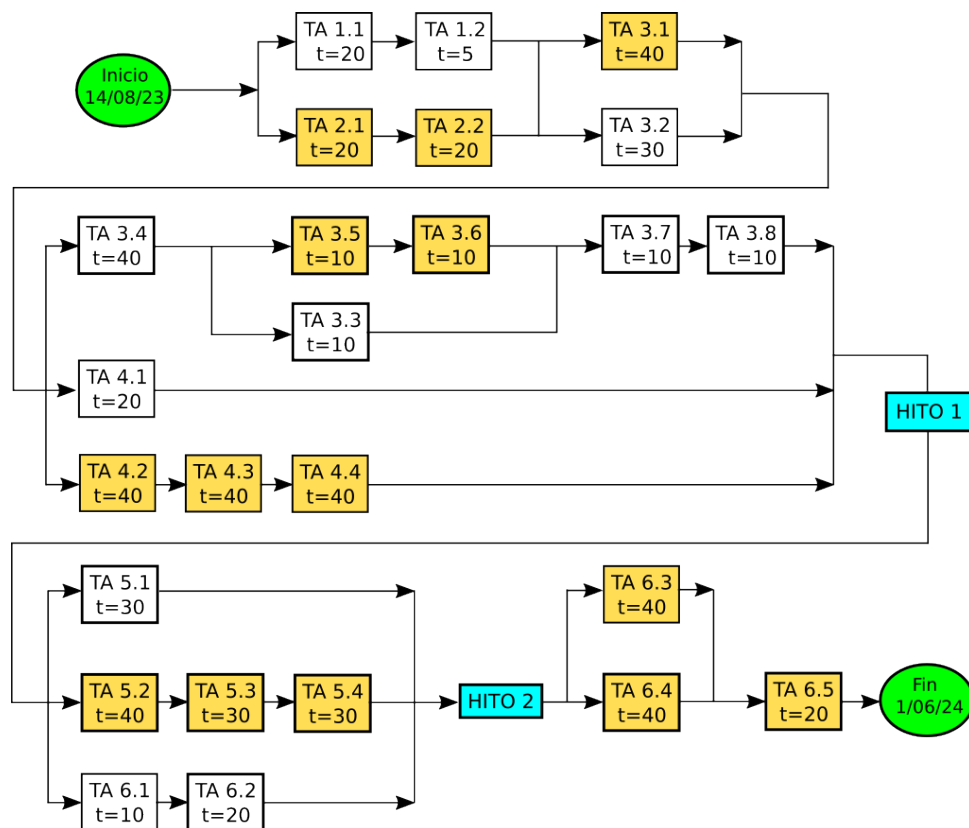


Figura 4. Diagrama en *Activity on Node*.

11. Diagrama de Gantt

El diagrama de Gantt se presenta en cuatro esquemas separados para mayor claridad.

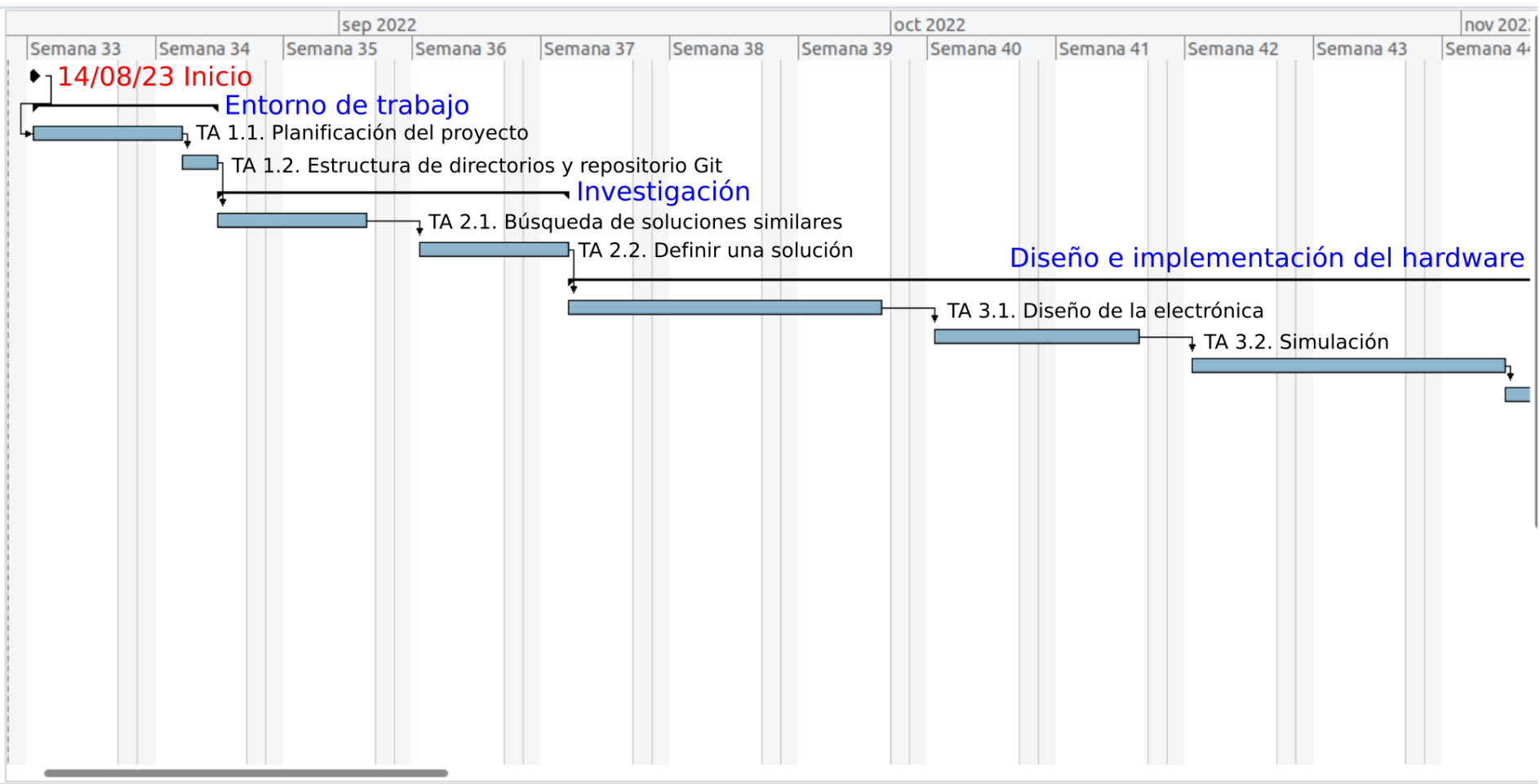


Figura 5. Diagrama de Gantt (parte 1-4).

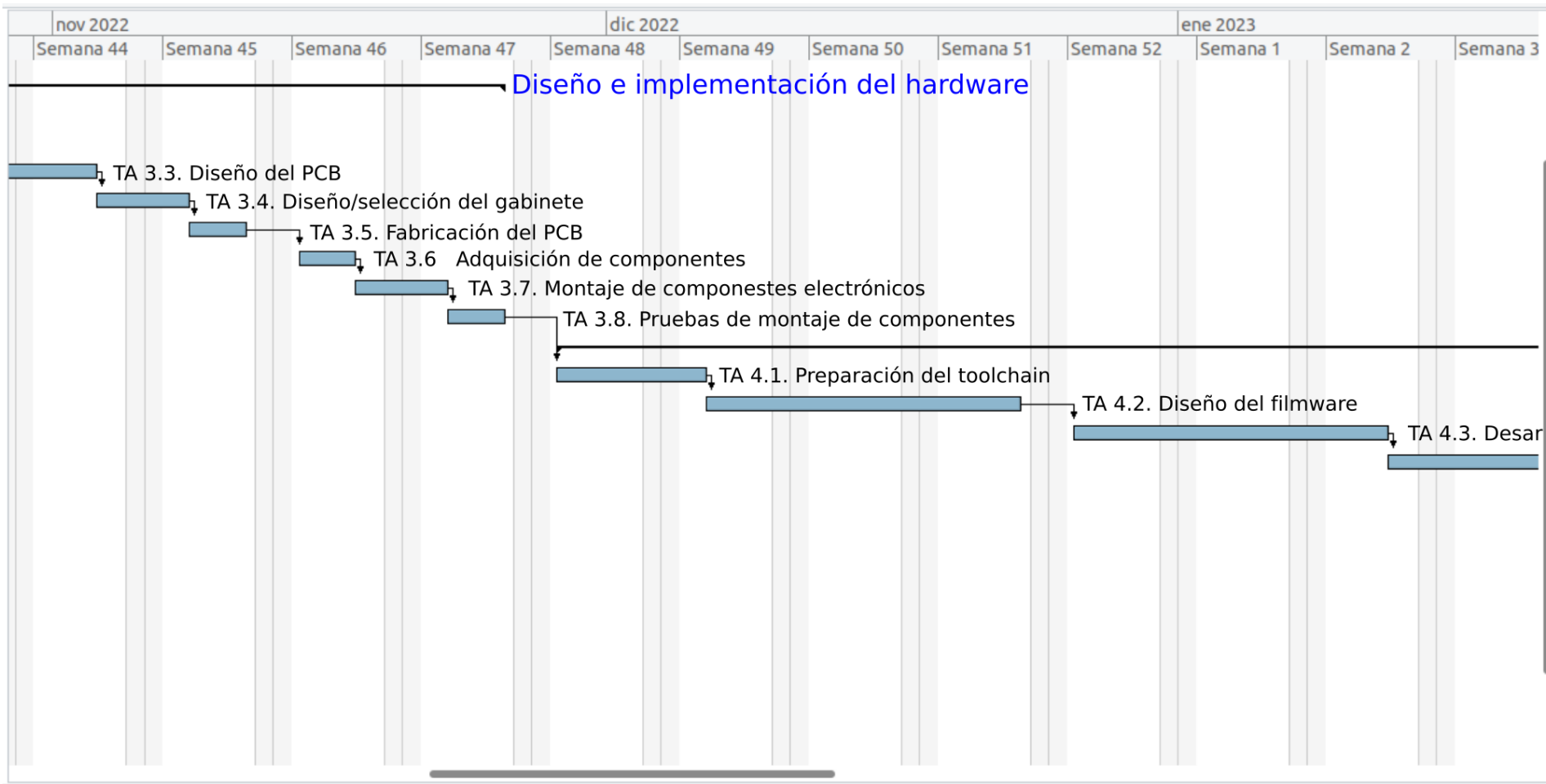


Figura 6. Diagrama de Gantt (parte 2-4).

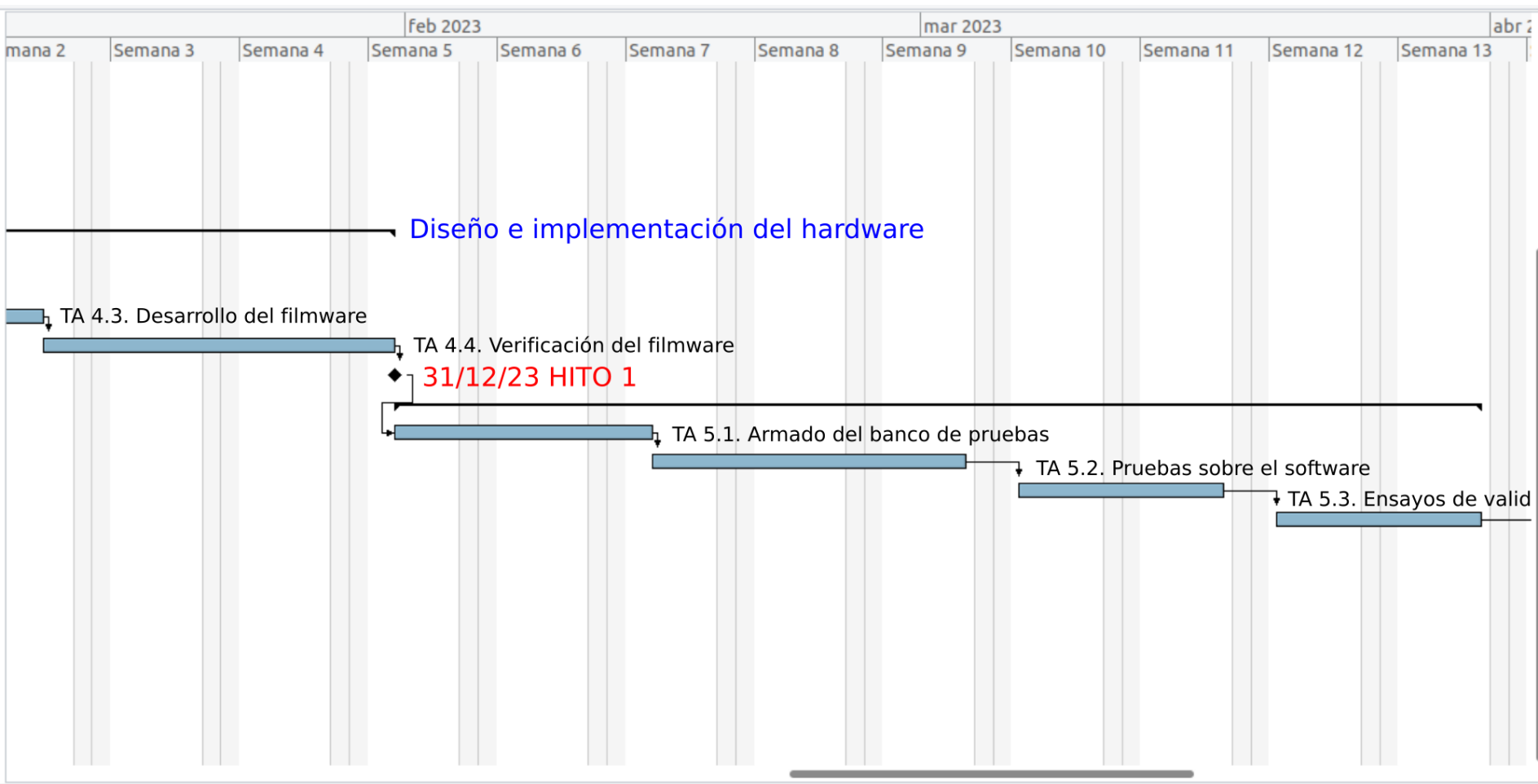


Figura 7. Diagrama de Gantt (parte 3-4).

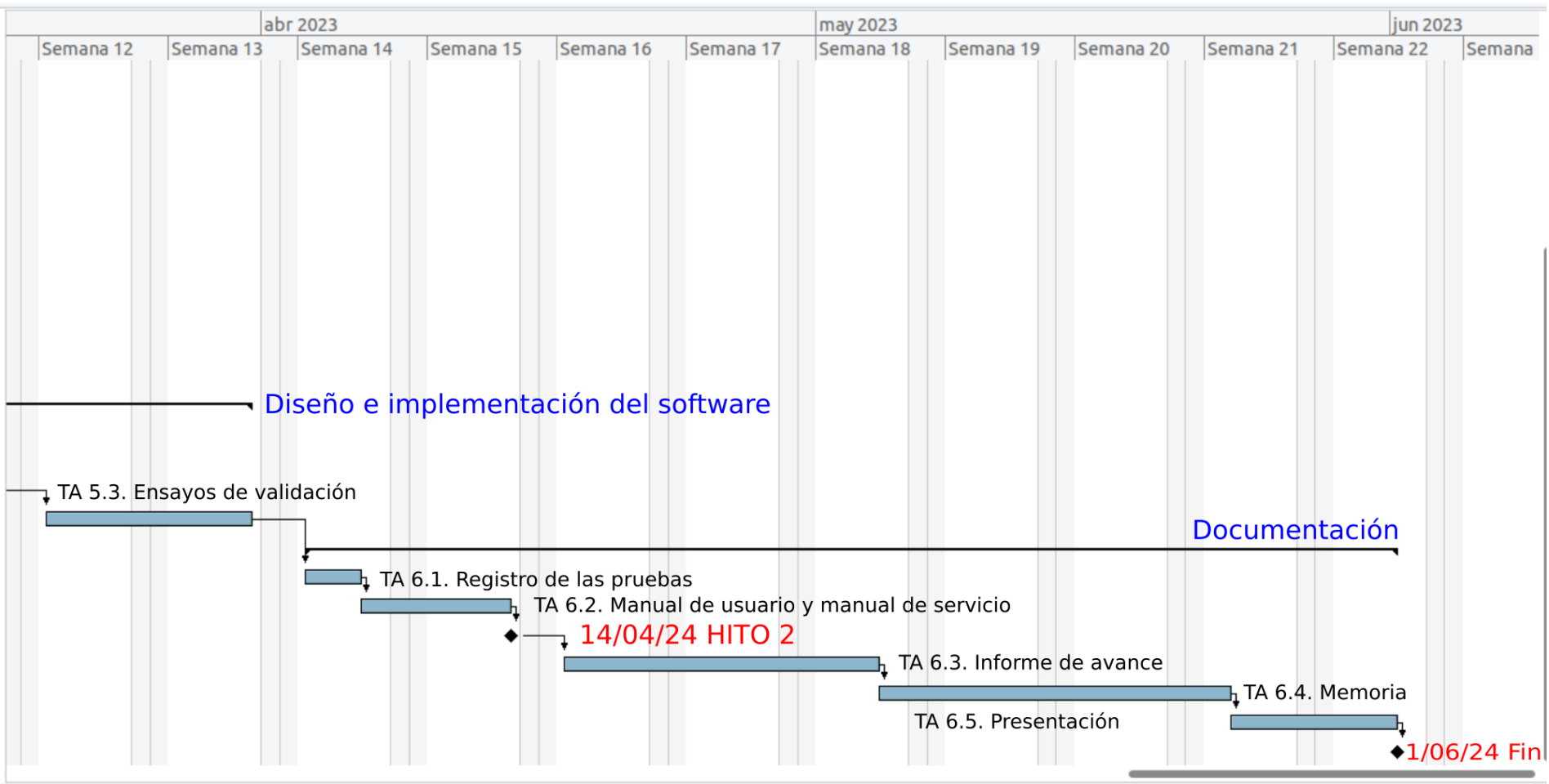


Figura 8. Diagrama de Gantt (parte 4-4).

12. Presupuesto detallado del proyecto

Se consideran como costos directos las horas de ingeniería y desarrollo y los materiales y elementos necesarios para el armado del hardware.

Los costos indirectos se estiman como un 60 % de los costos directos. Los costos indirectos incluyen los materiales y equipos de laboratorio necesarios para el desarrollo del prototipo.

Los valores se expresan en dólares.

COSTOS DIRECTOS			
Descripción	Cantidad	Valor unitario	Valor total
Desarrollo/ingeniería (HH)	630	15	9450
Materiales y elementos para el hardware	1	3800	3800
SUBTOTAL			13250
COSTOS INDIRECTOS			
Descripción	Cantidad	Valor unitario	Valor total
Se calcula como un 60 % de los costos directos	1	7950	7950
SUBTOTAL			7950
TOTAL			21200

Nota: los valores indicados con fueron convertidos tomando el dólar a \$715. Fecha de consulta: 1 de septiembre de 2023.

13. Gestión de riesgos

a) Identificación de los riesgos:

Riesgo 1: no conseguir los componentes estipulados.

- Severidad (S): 10.
No contar con los componentes estipulados imposibilita el armado del módulo lo que puede detener o retrasar el avance del proyecto.
- Probabilidad de ocurrencia (O): 2.
El diseño se realizara atendiendo al contexto de disponibilidad y plazos actuales que existen en Argentina para la compra de componentes electrónicos.

Riesgo 2: destrucción de los prototipos desarrollados

- Severidad (S): 10.
Por un mal manejo de las herramientas y dispositivos de prueba se pueden originar daños en algunos circuitos integrados del módulo electrónico.
- Probabilidad de ocurrencia (O): 4.
Se considera que el autor de este trabajo, quién será el responsable de la manipulación de todos los instrumentos de laboratorio y herramientas, cuenta con el conocimiento y experiencia suficiente en el desarrollo de equipos electrónicos.

Riesgo 3: demoras en la fabricación de PCB

- Severidad (S): 6.
No contar con el PCB en el tiempo estipulado puede originar retrasos en todo el proyecto.
- Probabilidad de ocurrencia (O): 4.
Se trabajará con la empresa con mayor confiabilidad en la entrega de las placas según el asesoramiento de un profesional con basta experiencia en el campo.

Riesgo 4: mal diseño del circuito impreso

- Severidad (S): 8.
Implicaría un rediseñar el circuito y volver a fabricar.
- Probabilidad de ocurrencia (O): 4.
Se solicitará la revisión del circuito al director del trabajo y a dos docentes de electrónica de la Facultad de Ingeniería de Olavarría.

Riesgo 5: pérdida total o parcial del código desarrollado

- Severidad (S): 10.
Implicaría importantes demoras en el avance del proyecto.
- Probabilidad de ocurrencia (O): 2.
Se actualizará el repositorio de Github semanalmente.

b) Tabla de gestión de riesgos: (El RPN se calcula como $RPN = S \times O$)

Riesgo	S	O	RPN	S*	O*	RPN*
1	10	2	20			
2	10	4	40	5	3	15
3	6	4	24			
4	8	4	32	6	2	12
5	10	2	20			

Criterio adoptado: Se tomarán medidas de mitigación en los riesgos cuyos números de RPN sean mayores a 30.

Nota: los valores marcados con (*) en la tabla corresponden luego de haber aplicado la mitigación.

c) Plan de mitigación de los riesgos que originalmente excedían el RPN máximo establecido:

Riesgo 2: destrucción de los prototipos desarrollados

- Severidad (S*): 5.
Se equipará el banco de prueba con todos los materiales, herramientas y dispositivos necesarios para que las pruebas sobre el módulo electrónico se realicen con la mayor seguridad eléctrica para el dispositivo.
- Probabilidad de ocurrencia (O*): 3.
Las pruebas sobre el módulo electrónico que no requieran equipamiento electrónico dedicado se realizarán en el laboratorio de Física de Facultad de Ingeniería de Olavarría, mientras que las que sí lo requieran, se realizan en el laboratorio de electrónica personal del autor de este trabajo.

Riesgo 4: Mal diseño del circuito impreso

- Severidad (S^*): 6.
Se consultará con docentes de la CESE especialistas en la temática que puedan orientar a reconocer el problema y no propagar la falla.
- Probabilidad de ocurrencia (O^*): 2.
Los docentes de la CESE cuentan con una formación sólida en la temática y basta experiencia en la industria. Por otro lado, siempre manifiestan la predisposición a colaborar o asesorar a los estudiantes.

14. Gestión de la calidad

- Req #1: Metodología de trabajo

Ítems 1.1-1.2-1.5

- Verificación: la documentación debe existir en forma digital y estar en un repositorio.
- Validación: se enviarán, por correo electrónico al cliente, los documentos de avance correspondientes.

Ítems 1.3-1.4

- Verificación: se verificará que todas las piezas de código y herramientas utilizadas se diseñen con software libre.
- Validación: se mostrarán al director todos los elementos de código y herramientas desarrolladas.

- Req #2: Diseño

Ítems 2.1

- Verificación: se verificará que en el laboratorio de física de la Facultad de Ingeniería de Olavarría exista al menos una fuente de alimentación de laboratorio disponible para las pruebas y ensayos.
- Validación: se enviará, por correo electrónico al cliente, el correo del pedido de la fuente de laboratorio al responsable del laboratorio.

Ítems 2.2-2.3

- Verificación: se verificará que exista en la documentación correspondiente (informes, diagramas, hojas de datos) la información suficiente que justifica cada diseño realizado.
- Validación: se enviará, por correo electrónico al cliente, un informe con las características eléctricas y mecánicas del módulo electrónico diseñado.

- Req #3: Entradas analógicas

Ítems 3.1-3.6

- Verificación: se realizará un ensayo de laboratorio que permita probar las entradas analógicas a su máxima frecuencia de muestreo y rango de entrada de tensión.
- Validación: se enviará, por correo electrónico al cliente, un informe con los resultados del ensayo de laboratorio.

■ Req #4: Entradas/salidas digitales

Ítems 4.1-4.4

- Verificación: se realizará una inspección visual del circuito electrónico para verificar la disponibilidad en el módulo de las entradas/salidas digitales.
- Validación: se realizará, en presencia del cliente, un ensayo demostrativo de las características de las entradas/salidas digitales.

■ Req #5: Controlador de los motores

Ítems 5.1-5.3

- Verificación: se realizará una inspección visual del circuito electrónico para verificar que el bloque de control de motores cuente con las características necesarias para trabajar con motores paso a paso y con motores de corriente continua.
- Validación: se realizará, en presencia del cliente, una prueba de funcionamiento de un motor paso a paso con el módulo desarrollado.

■ Req #6: Comunicación

Ítems 6.1-6.4

- Verificación: se realizará una prueba de conexión entre el módulo y la red de laboratorio. Se mostrarán todas las tecnologías utilizadas referidas a los protocolos de comunicación y los mensajes transmitidos.
- Validación: se enviará, por correo electrónico al cliente, un informe con los resultados de la prueba realizada.

■ Req #7: Interfaz de configuración

Ítems 7.1-7.3

- Verificación: se realizará una inspección visual de la interfaz.
- Validación: se enviará, por correo electrónico al cliente, un informe con capturas de la interfaz de comunicación destacando las relevantes.

■ Req #8: Pruebas

Ítems 8.1-8.3

- Verificación: los resultados obtenidos en cada una de las pruebas se documentará y volcará en un informe semanal.
- Validación: se enviará, por correo electrónico al cliente, el informe de los resultados obtenidos, destacando los problemas o inconvenientes.

■ Req #9: Documentación

Ítems 9.1-9.3

- Verificación: se verificará la existencia de la documentación referida al hardware y al software. Se verificará la existencia del informe de avance, de la memoria y de la presentación pública del proyecto.
- Validación: se enviará, por correo electrónico al cliente, toda la documentación del proyecto disponible en el repositorio.

15. Procesos de cierre

Una vez finalizado el proyecto, se implementará el siguiente plan de cierre:

- Presentación y análisis del proyecto (a cargo del responsable del proyecto).
 - Presentación del desarrollo del proyecto.
 - Analizar los objetivos propuestos en este proyecto y verificar que cada uno se haya alcanzado satisfactoriamente.
 - Verificar si los requerimientos del proyecto se cumplieron.
 - Comprobar la ejecución y cumplimiento del plan de trabajo y metodología usada.
- Análisis de problemas y soluciones (a cargo del responsable y del director del proyecto).
 - Comentar y discutir los problemas presentados durante el desarrollo del proyecto.
 - Discutir los posibles alcances y mejoras en el futuro para este proyecto.
- Acto de agradecimiento.

El acto de agradecimiento está a cargo de las autoridades del posgrado.